

スイッチング電源のスイッチング 周波数を高くする目的は、平滑用の コイルとコンデンサの形状を小さく するためです。周波数 f を 10 倍に するとコイルのインダクタンス値 L, コンデンサのキャパシタンス値 Cが 1/10 でも同じ平滑効果が得ら れます。L値、C値が小さくて済む ので形状も小さくできます。しかし、 f を高くするとスイッチ素子の損失 が増え、その発熱が小形化を制約し ます。

## スイッチング損失

パワー MOS-FET のスイッチング過程を第1図に示します。ドレイン-ソース間電圧  $V_{DS}$  またはドレイン電流 ID の一方が大きくなると他方が小さくなります。この関係はハードスイッチングと呼ばれ,スイッチング損失  $P_{SW}$  は f に比例します。

 $P_{\text{sw}}{}^*{=}1/6{\cdot}V_{\text{\tiny DS}}$ 

 $\times I_{\scriptscriptstyle D}\!\cdot\! (t_{\scriptscriptstyle on}\!+\!t_{\scriptscriptstyle off})\cdot\! f$ 

ただし、 $t_{on}$  はターンオン時間、 $t_{off}$  はターンオフ時間

なお、スイッチ素子内で発生する 損失にはスイッチング期間のスイッ チング損失  $P_{sw}$ 、オン期間に発生す る飽和損失  $P_{sat}$ 、オフ期間の漏れ損 失  $P_{leak}$  の合計で、 $P_{sat}$  と  $P_{leak}$  は 高周波化によって増加しません。 \* バイポーラ・トランジスタの場合は Psw  $=V_{DS} \times I_D \cdot (1/6 \cdot t_{on} + 1/2 \cdot t_{off}) \cdot f$ 

### 共振形の原理

スイッチング期間に  $V_{DS}$ あるいは  $I_D$ のいずれか一方をゼロにすれば  $P_{SW}$ もゼロになります。スイッチ素子と負荷を含む閉回路に I, Cを追加することにより第2図(a)のように一方を円弧状に丸めます。この方式が共振形で、ソフトスイッチングとも呼ばれます。

スイッチ素子に流れる電流が円弧状になる場合を電流共振形,スイッチ素子に印加される電圧が円弧状になる場合は電圧共振形と呼ばれます。スイッチング期間に一方が0だから, $P_{sw}$   $\pm 0$  になります。しかし,追加したコイルまたはコンデンサの

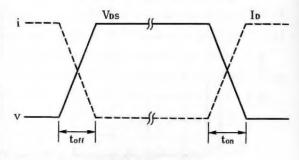
内部損失が加わるので,ス イッチング電源全体の効率 が高くなるとは限りません。

円弧を描く共振形は比較的大きい L, Cを必要とします。L, Cを小さくすると第2図(b)のように、特定周波数で振動(リンギング)する波形になります。見栄え

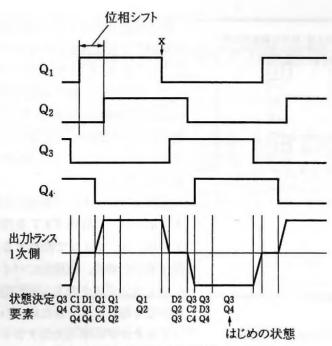
は悪いもののソフトスイッチングであり、 $P_{sw}$ を抑制する効果はおなじです。ハードスイッチングに比べdv/dt、di/dtが小さい(スイッチングの速さが遅い)ので電磁ノイズも低くなります。

### ZVS コンバータ

ZVS (Zero-Voltage-Switching) はパワー MOS-FET のドレイン-ソース間寄生容量 Coss を共振素子として利用する,ソフトスイッチングの一方式です.第3図に大電力用のトランス絶縁形 ZVS コンバータを示します.第4図に示すタイミングで  $Q_1 \sim Q_4$  をオン,オフすると出力トランスの1次側に Zero-Voltage-Switching 出力が得られます. $L_1$ , $LR_1$  はそれぞれトランスの1次側,2次側の漏れインダクタンスです.



toff, ton期間に発生する損失 Psw=  $\frac{1}{6}$  Vps×Ip×(ton+toff)×f
〈第1図〉パワー MOS-FET のハード・スイッチング過程



〈第4図〉ZVSコンパータ出力段の位相シフト駆動

\*\* 特許 2722869 号 (1991 年出願) より引用。 なお、同社の最新のパワーアンプ MX-D1 では 88 kHz 他励発振方式に変更されてい ます。

# 共振形スイッチング電源の問 題点

現状の共振形スイッチング電源は 制御が複雑で、電源変動や負荷変動 に弱い欠点もあります。高い効率を 維持しつつ、共振動作させるために は高周波で損失の少ない電力用フィ ルムコンデンサが必要です。 高周波特性に優れるスチロールは 熱に弱く、電力用には使えません。 耐熱性があり安価なポリエチレン (PE)は損失が大きく\*\*\*、高周波化 には不適当です。耐熱性があり、し かも高周波損失の少ない材質はマイ カとテフロンですが、品種は少なく、 高価です。やむを得ずポリプロピレ ン(PP)を使用せざるを得ませんが、 形状は PE に比べて大きく(約2 倍)、耐熱性もせいぜい 120°Cと低い ことが弱点です。

コンピュータ向けスイッチング電

源が軽薄短小を追い続ける風潮は、 今後も継続するでしょう。共振形電 源の設計はハードスイッチングの PWM (Pulse Width Modulation) 方式より格段に難しく普及を拒んでいます。しかし、オーディオ機器の 最重要課題をノイズ抑制とするので あれば、ソフトスイッチングすなわ ち共振形電源に移行せざるを得ません。

\*\*\* PE は材質の損失  $\tan \delta$  が大きいだけでなく、電極抵抗成分のパラツキが大きい。他方、PP は  $\tan \delta$  が小さい特徴をキャッチフレーズとする前提から、電極抵抗成分は管理され、パラツキは小さい。

(つづく)

#### 〈お詫び〉

前号〈第7回〉の図面が本文と相違して入ってしまいました。お詫びして訂正いたします。そのため連載回数は「7.1」とさせていただきます。

〈第5図〉 ヤマハ PS (Power Strem) 電源回路例 (特許公報 2722869 号より引用)

